

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМЕЙСТВО ТЕХНОЛОГИЙ PON И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>Иванов В.Э., <sup>1</sup>Кожакова Л.К., <sup>2</sup>Айтбаева М.А., <sup>2</sup>Кожаков Н.К.

<sup>1</sup> *Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32), e-mail: Leila.kospanovna@mail.ru*

<sup>2</sup> *Казахский национальный исследовательский университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан (050013, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22), e-mail: Leila.kospanovna@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена одному из наиболее популярных и перспективных средств широкополосного доступа (ШПД) — семейству технологий с общим названием "пассивная оптическая сеть" (Passive optical network) или сокращённо, PON. Вообще сети доступа являются сложным и важным компонентом любой телекоммуникационной инфраструктуры. Потребители услуг связи получают услуги именно через сеть доступа. Сложность этого компонента определяется разнообразием оборудования, а также множеством используемых протоколов и интерфейсов. Важность этого компонента определяется существенным влиянием на техническую эффективность и экономические показатели сети связи в целом по причине большого абсолютного и относительного количества технических средств на сетях доступа. В настоящее время наиболее динамично развивающейся разновидностью доступа является ШПД, обеспечивающий пользователю высокоскоростной доступ в Интернет, пакет телевизионных каналов, услугу "видео по запросу" и многое другое. Семейство технологий PON является эффективным средством проводного ШПД. Рассмотрены архитектуры сетей доступа, определения и классификация PON. Особое внимание уделено вопросам резервирования.

**Ключевые слова:** широкополосный доступ (ШПД), пассивная оптическая сеть, рекомендация МСЭ-Т, интерфейс, сплиттер (разветвитель), резервирование.

## FAMILY RESEARCH TECHNOLOGIES PON AND PROBLEM ANALYSIS RESERVATION

<sup>1</sup>Ivanov V.E., <sup>1</sup>Kozhakova L.K., <sup>2</sup>Aytbaeva M.A. <sup>2</sup>Kozhakov N.K.

<sup>1</sup> *Ural Federal University named after the first Russian President B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Russia, Ekaterinburg, Mira st., 32), e-mail: Leila.kospanovna@mail.ru*

<sup>2</sup> *Kazakh National Research University named after K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan (050013, Kazakhstan, Almaty, Satpaev str., 22), e-mail: Leila.kospanovna@mail.ru*

**Abstract.** The article describes one of the most popular and perspective means of broadband access - a family of technologies with the common name "passive optical network (PON)". In general network access is complex and an important component of any telecommunication infrastructure. Subscribers receive

telecommunication services through the access network. The complexity of this component is determined by a variety of equipment, as well as numerous protocols and interfaces. The importance of this component is determined by significant influence on technical efficiency and economic performance of telecommunication network because of the large absolute and relative quantity of technical means for access networks. Currently, the most dynamically developing version of access is broadband access, providing the user with high-speed Internet, package of television channels, video on demand and much more. The family of PON technologies is an effective means of optical broadband access. The article focuses on access networks architecture definition and classification of PON. Particular attention is paid to the problems of access reliability.

Keywords: broadband access, passive optical network (PON), ITU-T recommendation, interface, splitter, protection.

## **Введение**

Одним из наиболее популярных и перспективных средств оптического широкополосного доступа (ШПД) является семейство технологий с общим названием "пассивная оптическая сеть" (Passive optical network), или, сокращённо, PON.

Вообще сети доступа являются сложным и важным компонентом любой телекоммуникационной инфраструктуры. Потребители услуг связи получают услуги именно через сеть доступа. Сложность этого компонента определяется разнообразием оборудования, а также множеством используемых протоколов и интерфейсов. Важность этого компонента определяется существенным влиянием на техническую эффективность и экономические показатели сети связи в целом по причине большого абсолютного и относительного количества технических средств на сетях доступа. В настоящее время наиболее динамично развивающейся разновидностью доступа является ШПД, обеспечивающий пользователю высокоскоростной доступ в Интернет, пакет телевизионных каналов, услугу "видео по запросу" и многое другое. Семейство технологий PON является эффективным средством проводного ШПД.

Цель статьи – исследование технологий PON "пассивная оптическая сеть" (Passive optical network) и анализ проблем резервирования.

## **1. PON среди технологий доступа**

Анализируя варианты реализации сетей доступа можно разбить на три группы:

- беспроводные сети доступа;
- проводные сети доступа на основе низкочастотных кабелей с металлическими жилами и/или на основе металлических проводов;
- проводные сети доступа на основе волоконно-оптических кабелей.

Возможны также комбинированные (гибридные) варианты. Беспроводные сети доступа используются для организации мобильного доступа, причём во многих случаях в комбинации с системами проводного доступа (например, для связи базовых станций).

Организация цифрового ШПД на основе низкочастотных кабелей с металлическими жилами и/или на основе металлических проводов возможна с применением технологий DSL. В этом семействе технологий наибольшую скорость доступа обеспечивают технологии ADSL2 и VDSL. Технология ReachDSL представляет интерес для использования на длинных и некачественных абонентских линиях. Другой особенностью этой технологии является низкое энергопотребление.

Анализируя существенные недостатки технологий *xDSL* можно определить:

- относительно небольшую скорость передачи;
- относительно небольшую дальность;
- высокие требования к используемым парам (требуются пары 5-й категории, необходим отбор пар).

Место PON среди технологий сетей доступа показано на рис. 1.



Рис. 1. PON среди технологий доступа

Для организации ШПД на основе волоконно-оптических кабелей используется семейство технологий FTTx (Fiber To The x-point- волокно до точки *x*). Точка *x* - это точка перехода с оптического волокна на другую физическую среду передачи. Точка *x* может быть расположена на вводе в здание (building) - FTTb, в офис (office) – FTTо и т.д.

В общем случае "неоптический" сегмент может быть построен на базе металлических кабелей/проводов (например, если  $x = 0$ , то может использоваться структурированная кабельная система - СКС), на базе беспроводных технологий или вовсе отсутствовать.

Таблица 1. Достоинства и недостатки PON

Достоинства	Недостатки
Очень высокая пропускная способность (технология XGPON- вплоть до десятков Гбит/с)	Необходимость нового строительства (создание оптической инфраструктуры сети доступа)
Отсутствие промежуточных активных (требующих электропитания) узлов	Относительно высокая стоимость оборудования.
Относительно большая дальность (до 20 км}	

Технологии PON занимают среди оптических технологий особое место. Одна пассивная сеть может обслуживать большое количество пользователей. Общие особенности семейства PON относительно других технологий доступа можно представить в виде перечня достоинств и недостатков (табл. 1).

## 2. Архитектура и компоненты PON

Обобщённая базовая архитектура PON представлена на рис. 2. На этом рисунке и в дальнейшем тексте компоненты PON обозначены англоязычными сокращениями в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т.

Приняты следующие обозначения компонентов непосредственно PON и граничащих с этой сетью:

- SN/BNN (ServiceNode/BorderNetwork "Node) - узел предоставления услуг, или граничный сетевой узел;
- OLT (Optical Line Terminal) - оптический линейный терминал;
- ONU (Optical Network Unit) - оптический сетевой блок;
- SNI {Service Node Interface) – интерфейс узла предоставления услуг;
- UNI (User-Network Interface) – интерфейс пользователь-сеть;
- ODN (Optical Distribution Network) - оптическая распределительная сеть;
- S (Splitter) - сплитгер, или разветвитель;
- x (x-point) - точка x.

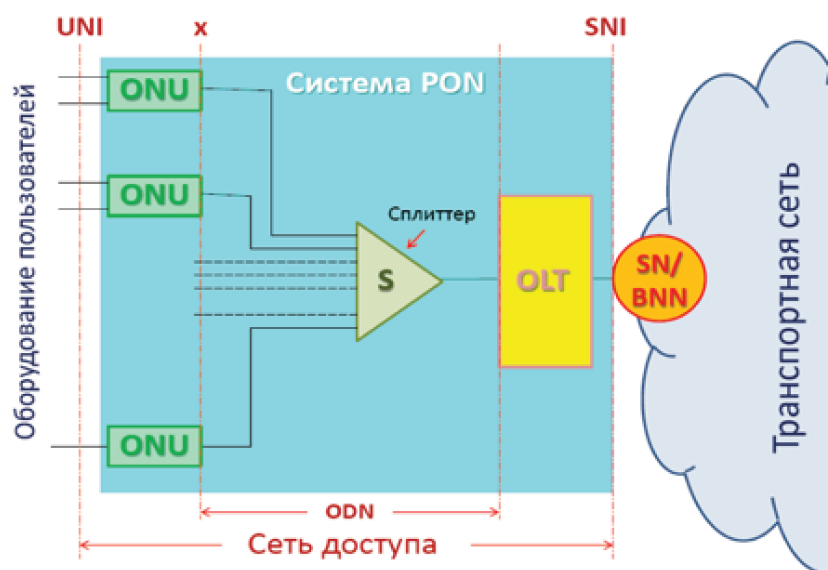


Рис. 2. Базовая архитектура и компоненты PON

SN, он же BNN, - это граничный узел транспортной сети, через который пользователь посредством сети доступа получает телекоммуникационные услуги. SN/BNN может иметь несколько портов с интерфейсами SNI в сторону сети доступа.

OLT представляет собой активный компонент PON, являющийся устройством, реализующим специальный протокол PON и обеспечивающим управление соответствующими ONU. OLT соединяется с SN/BNN через порт с интерфейсом SNI.

Каждый порт OLT в сторону пользователей представляют собой общую (корневую) точку пассивной оптической распределительной сети (ODN), оптическая сеть доступа может включать в себя несколько оптических распределительных сетей, присоединённых к одному и тому же OLT.

Оптическая распределительная сеть имеет древовидную конфигурацию. Общая точка ODN называется "корнем", а конечные точки разветвлений — "листьями". Разветвления в ODN создаются с помощью сплиттеров, представляющих собой пассивные устройства.

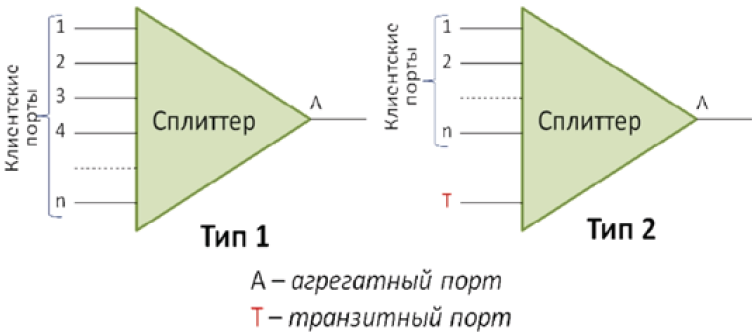
Сплитгер имеет так называемый агрегатный порт в сторону "корня" и ряд компонентных портов в сторону "листьев".

ODN в сторону пользователей оканчивается устройствами ONU. ONU представляет собой активное устройство, которое терминирует "лист" ODN и имеет в сторону пользователей один или несколько портов с интерфейсами UNI.

В ODN могут применяться сплиттеры различных типов, что позволяет строить распределительные сети PON более сложных конфигураций.

В любом случае сплиттер, пропуская сигнал (поступающий на агрегатный порт) в направлении "листьев" распределяет выходную мощность между компонентными портами в определённой пропорции. Причем суммарная мощность сигналов на всех компонентных портах меньше мощности входного агрегатного сигнала из-за потерь в сплиттере.

На рис. 2.1. показаны сплиттеры двух условных типов.

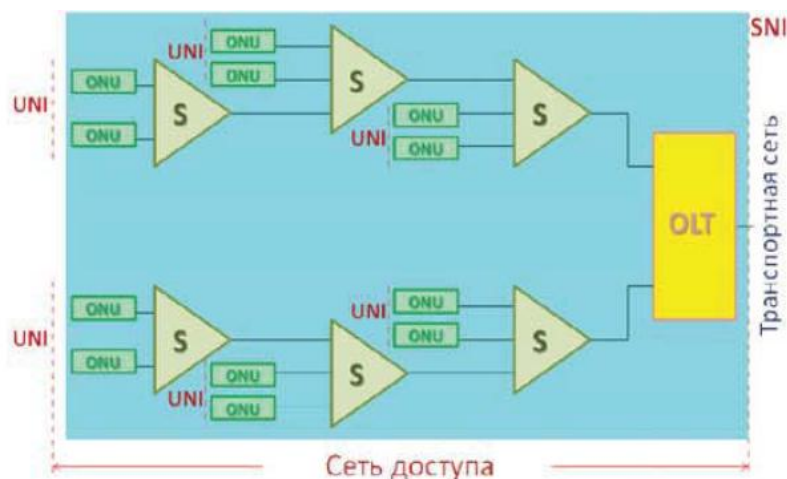


**Рис. 2.1. Разновидности сплиттеров**

Сплиттер типа 2 отличается наличием транзитного порта Т. Принцип устройства обоих сплиттеров одинаков, однако в сплиттере условного типа 2 на транзитный порт распределяется основная часть выходной мощности. Сплиттеры обоих типов могут иметь два агрегатных порта для реализации различных схем резервирования PON. Обозначения различных сплиттеров представлены в табл. 2. Пример более сложной архитектуры PON по сравнению с базовой схемой представлен на рис. 2.2.

**Таблица 2. Условные обозначения сплиттеров**

Количество портов			Обозначение	
Агрегатных	Компонентных		Тип 1	Тип 2
	транзитных	клиентских		
1	0	n	1:n	-
2	0	n	2:n	-
1	1	n		1:n+t
2	1	n	-	2:n+t



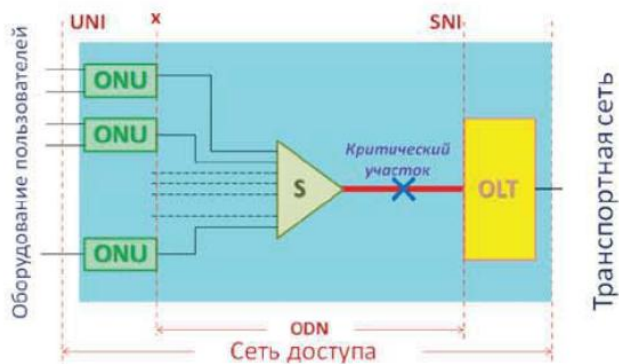
**Рис. 2.2. Пример сложной архитектуры PON с транзитным соединением сплиттеров**

На этом рисунке представлена PON с двумя самостоятельными распределительными сетями (ODN), в каждой из которых используется транзитное соединение сплиттеров.

### 3. Резервирование в пассивных оптических сетях

Резервирование сетей доступа является очень сложной проблемой, в связи с высокой "чувствительностью" вариантов реализации к требуемым затратам. Следует отметить, что по сравнению с транспортными сетями в сетях доступа затраты на резервирование делятся на относительно небольшое количество пользователей. Кроме того, у разных пользователей, подключённых к одной и той же ODN, могут быть сильно отличающиеся друг от друга требования по надёжности.

При организации сетей доступа с помощью технологии PON наиболее критическим является участок сети между OLT и первым сплиттером. Обрыв ОВ на этом участке лишает доступа всех пользователей, подключённых к данной распределительной сети (рис. 3).



**Рис. 3. Надёжность PON. Критический участок**

Сложность проблемы является причиной большого количества стандартизированных вариантов архитектуры резервирования в сетях доступа на основе технологии PON. В дополнении МСЭ-T G.Sup51 "Соображения, по резервированию пассивной оптической сети" [5] представлены основные варианты архитектуры резервирования.

Разница между вариантами резервирования зависит от того, что резервируется:

- общее волокно (участок OLT- сплиттер);

- общее волокно и распределительные волокна (участок сплиттер - ONU);
- оборудование OLT;
- оборудование OLT и ONU;
- различные комбинации и сочетания выше указанных вариантов.

Все варианты имеют различное влияние на коэффициент готовности и стоимость, в зависимости от вероятности обрыва волокна, наработки на отказ оборудования, перепадов температуры и т.д. Оптическая распределительная сеть (ODN) определяет наиболее значительные расходы и отказы системы PON. И таким образом развертывание любой архитектуры следует свести к минимуму стоимости QDN(участки сплиттер- ONU) при обеспечении требуемой отказоустойчивости.

Ниже рассматриваются стандартные схемы архитектур резервирования сетей доступа на основе PON(по нарастанию сложности). На рис. 3.1. представлена схема резервирования, обозначенная в G.Sup51 [5] как "Тип А".

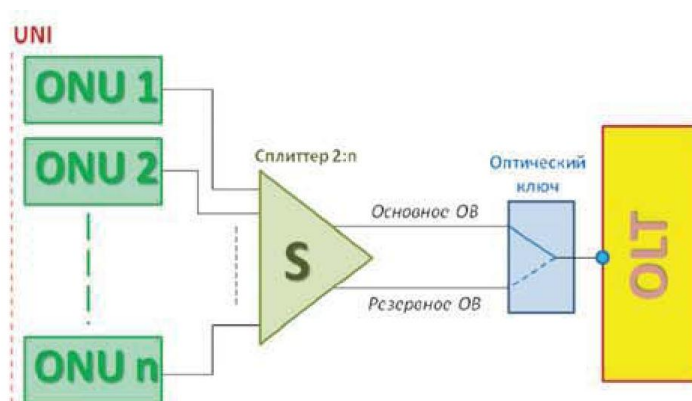


Рис. 3.1. Схема резервирования. Тип А

На рис. 3.2. представлена схема резервирования, обозначенная в [41] как "Тип В".

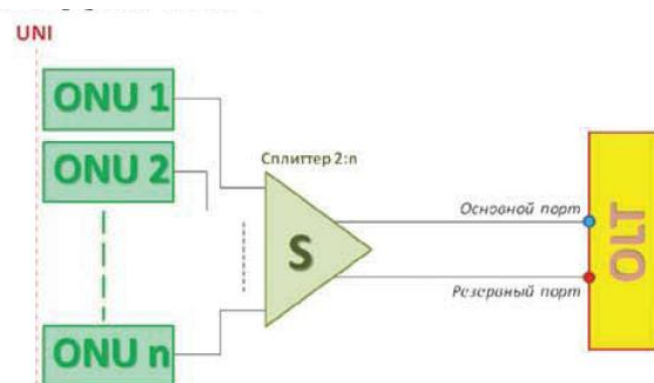


Рис. 3.2. Схема резервирования. Тип В

Эта схема аналогична типу А, однако вместо оптического ключа используется постоянное подключение второго ОВ к дополнительному порту OLT. К этому же варианту можно отнести наличие двух OLT в отдельных шасси на одной стойке. Переключение осуществляется оператором или же автоматически.

В вариантах А и В используется сплиттер типа 2:n, который стоит примерно столько же, как и сплиттер 1:n, и не вносит никаких дополнительных оптических потерь. Эти варианты являются наиболее дешевыми, поскольку средства резервирования являются общими и их стоимость распределяется между всеми пользователями.



На рис. 3.3. представлена схема резервирования, обозначенная в [5] как "Тип В с двойным OLT".

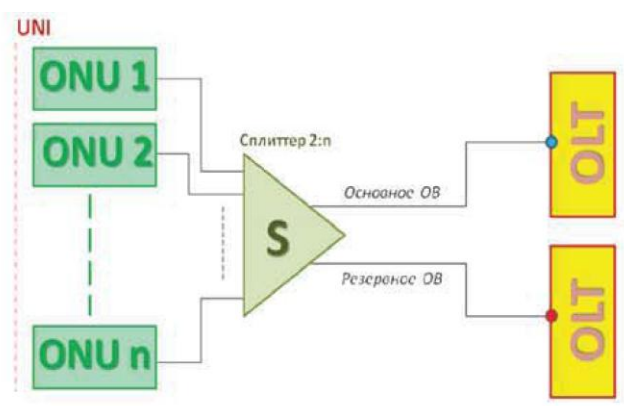


Рис. 3.3.Схема резервирования. Тип В с двойным OLT

Эта схема аналогична тину В, однако в ней дублируется оборудование OLT. Резервный OLT может находиться вместе с основным OLT в том же помещении, но это нежелательно при наличии вероятности природных катастроф. Наибольший эффект достигается при размещении основного резервного OLT территориально разнесённых местах. Основное и резервное ОВ должны быть в разных кабелях. В принципе отдельные OLT могут быть даже от разных производителей.

На рис. 3.4. представлена схема резервирования, обозначенная в [5] как "Тип С". Эта схема отличается от схемы типа В (рис. 10) тем, что в ней две оптические распределительные сети (ODN) резервируют друг друга. Что касается OLT, то здесь может также использоваться вариант с двойным OLT. В этом случае обеспечивается полное резервирование всех путей к помещениям пользователей. Это наиболее дорогой вариант, но он обеспечивает максимальную надёжность.

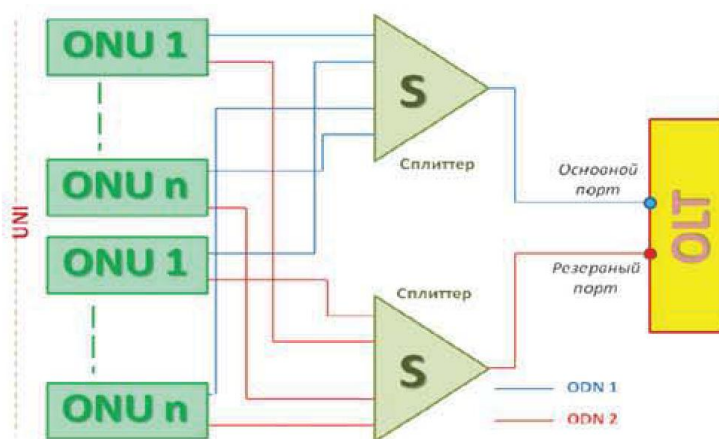
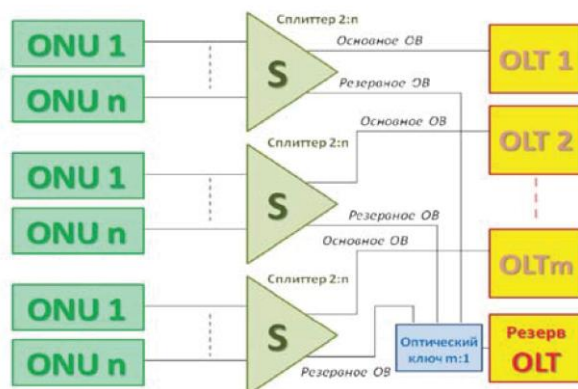


Рис. 3.4. Схема резервирования. Тип С





**Рис. 3.5. Схема резервирования. Тип В с использованием оптического ключа типа m:1**

Наконец, на рис. 3.5. представлена схема резервирования, обозначенная в [5] как «Тип В с использованием оптического ключа типа m:1». В этой схеме используется отдельный OLT, потенциально резервирующий любого из m основных OLT. Оптический ключ m:1 подключен с помощью резервного ВОК к каждому из m основных OLT.

### **Заключение**

Рассмотрены особенности технологий PON, архитектура сетей доступа, определения и классификация PON, и резервирования. Статья поможет разобраться и ориентироваться в англоязычной терминологии, присутствующей во многих публикациях аналогичной тематики.

### **Список литературы**

1. Меккель А. М. Технологии пассивной оптической сети / А. М. Меккель. – Москва : Фотон-Экспресс, 2013. – 69-74 с.
2. Заркевич Е. А. DWDM для высокоскоростных систем связи / Е. А. Заркевич. – Москва : Технология и средства связи, 2000. – 162 с.
3. Гранкин В.Я. Лазерное излучение. – Москва : Воениздат, 1978. – 382 с.
4. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети : учеб. пособие / Р. Р. Убайдуллаев. – Москва : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998. – 160 с.
5. ITU-T Recommendation G.902 (11/95). Framework recommendation on functional access networks (AN). Architecture and functions, access types, management and service node aspects. C. 40.
6. ITU-T Recommendation G.987 (06/12). 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms. C. 18.
7. ITU-T Recommendation G.989.1 (03/13). 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements. C. 18.
8. ITU-T G.Sup51 (05/12). Passive optical network protection considerations. C. 28.

### **References**

1. Mekkel A. M. Passive optical network technology / A. M. Mekkel. – Moscow : Foton-Express, 2013. – P. 69-74
2. Zarkevich E. A. DWDM for high-speed communication systems / E. A. Zarkevich. – Moscow : Technology and communication systems, 2000. – P. 162
3. Grankin V. Y. Laser radiation. – Moscow : Voениzdat, 1978. – P. 382

4. Ubaidullaev R. R. Fiber optical network : ucheb. posobie / R. R. Ubaidullaev. – Moscow : Eco-Trendz, 1998. – P. 160
5. ITU-T Recommendation G.902 (11/95). Framework recommendation on functional access networks (AN). Architecture and functions, access types, management and service node aspects. Pg. 40.
6. ITU-T Recommendation G.987 (06/12). 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms. Pg. 18.
7. ITU-T Recommendation G.989.1 (03/13). 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements. Pg. 18.
8. ITU-T G.Sup51 (05/12). Passive optical network protection considerations. Pg. 28.